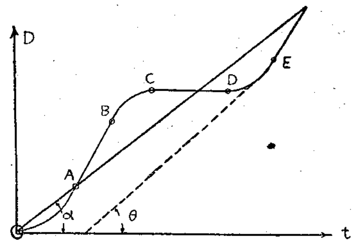
時距圖表による街路交叉點の解析

片平信貴

工學の一部門でありながら極めて有機的であり、數式に從はない要素の多くを持つて居るためにその發達を阻止されて居るものに、街路交通の整理の問題がある。1926年頃から交通を水流と同樣な考へ方から交通流と名付け理論的研究が進められて來た。我國においても理論的には多くの疑問を殘しながら、汎濫する交通流の洪水に押されて、循環式交叉點が現れ、一貫せる街路には進行式交叉點が設けられ、昔日の“進め止れ”からは隔世の感が深い。此處に時距圖表により街路交叉點の問題を解析して見たいと思ふ。

第一節　時距圖表

時距圖表とは橫軸に時間をとり縱軸に距離をとつて車輛の運動に對する時間と距離との關係を示した曲線であつて、鐵道交通においてはすでに古くから用ひられ、正確な運輸計畫の資料となつて居るものである。第1圖は、一般の時距圖表を示すもので曲線 O–A–B–C–D–E は時路と稱せられる。



第1圖

時路は一般に $D = f(t)$ なる關係で表される。此所に D は距離、t は時間 $f(t)$ は任意の函數である。

此の時距圖表の交通流分析に必要な一般的性質を調べて見ると次のやうである。

$\dfrac{dD}{dt} = f'(t) = \tan\theta$ は其の點における車輛の速度を表す。

$\dfrac{d^2D}{dt^2} = f''(t)$ は其點の車輛の加速度を示す。

さて、第1圖にかへつて曲線上各點の説明をすれば

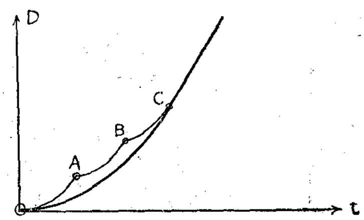
(i) OA 區間：$D'' = f''(t) > 0$ で加速度曲線を示す。

(ii) AB 區間：$D' = f'(t) = \tan\theta$ が一定で等速曲線を示す。

(iii) BC 區間：$D'' = f''(t) < 0$ で減速度區間を示す。

(iv) CD 區間：$D' = f'(t) = \tan\theta = 0$ で停止區間を示す。

即ち、時距圖表においては時路の傾斜角 θ が大なれば大なる程、速度の大なる事を示し、$\theta = 0$ は停止せる事を示して居る。加速度及減速度の曲線は、一般に拋物線を假定するのが普通で、自動車のギアチェンヂによる、不等加速度はこれをカバーする如き、等加速度曲線卽ち拋物線で表し、第2圖の如くして居る。第2圖は、普通乘用車のスタートで、OA はロー・ギア AB はセカンド、BC はトツプである。此の三段變化の不等加速度曲線を $\overset{\frown}{OPC}$ の如き拋物線でカバーし



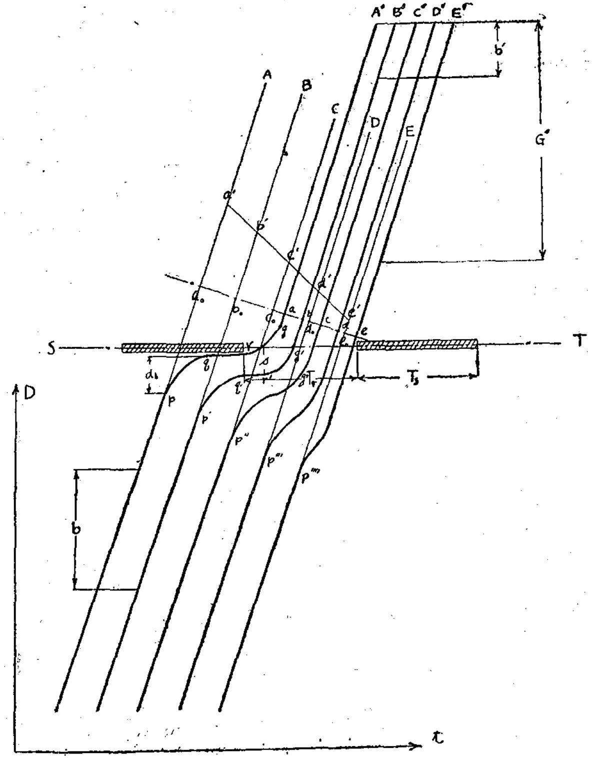
第 2 圖

て、等加速度曲線になほすのである。

第二節　交叉點に於ける時距圖表

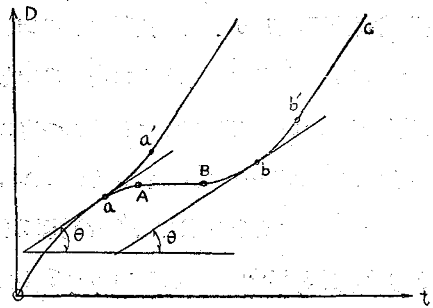
以上述べた時距圖表をブロクシステムの交叉點に適用し、その解析を施す前に交叉點における、時距圖表の描き方及それに必要な計算を略說して見やう。

第3圖はある交叉點の例で、一方向に對する交通流のみを考慮したものである。今一定間隔 b をなした車輛群 ABCD…が一定速度 v m/sec で走つて居るとし ST の位置にそれぞれ T_S T_G なる停止及進行の週期を有する交叉點にかかつた時の狀態を、時距圖表に示して見る。A–A, B–B, C–C, ……等の直線は所謂時路を示すもので $\tan\theta$ は v に等しからしめてある。先づ車輛 A について考へれば交叉點停止線から制動距離 d_b の點 p で減速を行ひ、q までは、減速度曲線即ち拋物線を描く。r において信號は進行を示し rg 間は加速度曲線を示す。そして、その加速度曲線の切線が $\tan\theta = v$ な

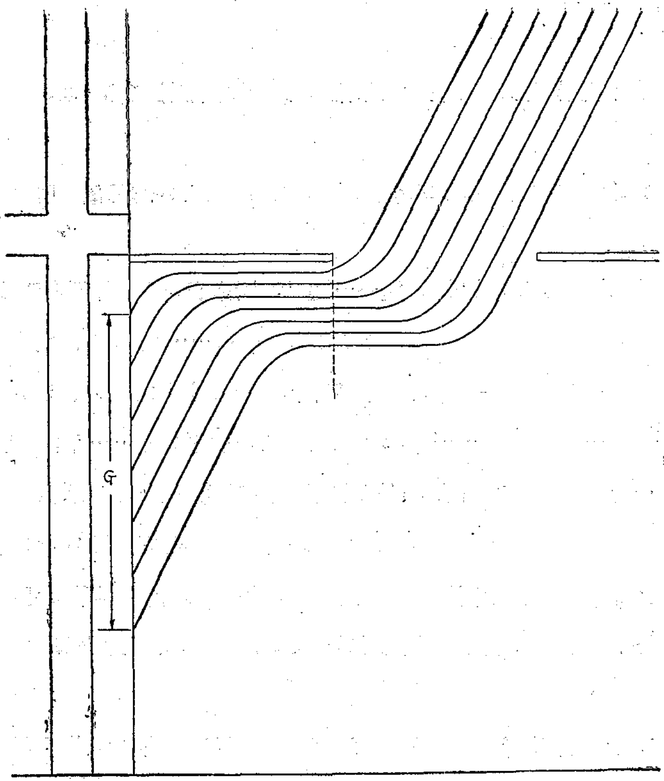


第　3　圖

る角をなすに到つて、等速度となり、ApqrgA′ なる時路が描かれる。同様に B, C, D……等の車輛についても同様の時路が描かれる筈である。ただ此の例において B 以下の進行開始は進めの信號によるものでなく、前車輛と一定間隔 s になつた時に進行を開始するもので此の s は車輛の速度により決定されるものである。從つて D.E の車輛の如きは停止にいたらず、減速からすぐ加速に移るものである。しかしその曲線の形は第４圖に示す如く一定のものである。即ち第４圖において、減速一停止一



第　４　圖



第　５　圖

加速の一般の場合を OABC とすると、特別の場合、即ち第3圖 E–E′ の如き場合は a まで減速し、直ちに加速に移るのであるから、a における切線と、同じ角 θ を含む、加速度曲線の切線を引き、その切點を b とすれば、曲線 aa′ は bb′ と同じ曲線となるわけである。

かくして AA′, BB′, CC′, ……等の時路が描かれるのである。交叉點通過後の時路において、車輛間隔 b′ は所謂最小制動距離になつて居る。交叉點にかかる前の車輛群が同じく最小制動距離 b′ を有して居る場合即ち所謂車輛列を形成して居る場合は第5圖に示す如き時距圖表となる。此の場合は次にのべる遅滯圖形は矩形となる。

第3圖における梯形 $a'a_0e_0e'$ は遅滯圖型と稱せられるもので、交叉點の解析に重要な役割をなして居る。A–A, B–B,…等に直角の底 a_0–e_0 を引き、その A–A, B–B, ……及 A–A′, B–B′, ……との交點をそれぞれ、a_0, b_0……及 a, b……とする。a_0a' を車輛 A のおくれに等しくとり、e_0e' を車輛 E のおくれに等しくとり、$a'e'$ を結びその A–A, B–B, ……等との交點を a, b′, c′……とすれば a_0a', b_0b', ……はそれぞれ車輛 A, B, C, ……のおくれを示す。

又、梯形 $a'a_0e_0e'$ の面積に等しい a_0e_0 を底とする矩形を描けばその高さは車輛 A, B, ……E, の平均のおくれを示すものである。

以上で大體、交叉點における時距圖表の製作に關する、一般的説明をのべたが次に時距圖表作製にあたり豫め計算すべき事項及假定等を略說しやう。

(a) 交叉點通過距離　　車輛が交叉點を通過しおはると云ふのは、(1) 車道幅員、(2) 車自身の長さ、(3) 橫斷步道の幅員を通過する事である。

此の長さを l^m と表す。

(b) 加速度　　加速度を α m/sec/sec として、交叉點における加速度は、等加速度なりと假定する。從つて交叉點横斷距離 l^m を通過するには　$t = \sqrt{\dfrac{2l}{\alpha}}$ 秒を要する。

(c) 起動時間間隔　　前の車輛が出發して次の車輛が出發する迄には一定の時間が必要である。これを起動時間間隔と稱し、t_s 秒で表す。

(d) 起動空間間隔　　空間的にも亦二車輛の間には出發に際して間隔が必要である。これを起動空間間隔と名付け l_s^m で表し、加速度、速度及それによる最小制動距離等に應じて其の場合特有の空間間隔が決定される。

以上を用ひて時距圖表を作製するに、二つの假定が考へられる。卽ち

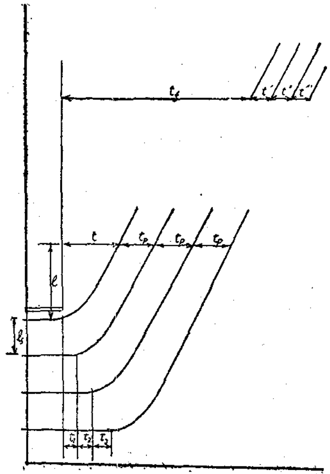
(1) l_s 及 t が各車輛につき同一と考へる。

(2) l_s は相等しく、t_s は異つて居るが、交叉點通過點における、時間間隔は等しく、t_p であると考へる。

先づ (1) の假定に從つて見やう。第6圖は此の場合で l_s^m の空間間隔において同様に出發ししかも起動時間間隔 t_v は

速度を v m/sec とすると　$t_v = t_s + (l_s \div v)$ 秒

距離においては　$l_v = l_s + (v \times t_s)$



第 6 圖

加速度を α m/sec/sec とすると、最初の車が全速度になるまでの時間 t_f は $t_f = \dfrac{v}{\alpha}$sec となる。

交叉點通過における各車輛の時間間隔は（交叉點通過までいづれの車輛も全速度に達せず加速狀態にあるものとする）

$$t_1 = t_s + [2(l_s+l) \div v_1] - t = t_s + \left[2(l_s+l) \div \alpha\sqrt{\frac{2(l_s+l)}{\alpha}}\right] - \sqrt{\frac{2l}{\alpha}}$$

$$= t_s + \frac{\sqrt{2(l_s+l)} - \sqrt{2l}}{\sqrt{\alpha}}$$

$$t_2 = 2t_s + [2(2l_s+l) \div v_2] - (t+t_1)$$

$$= 2t_s + [2(2l_s+l) \div \sqrt{2\alpha(2l_s+l)}] - [t_s + 2(l_s+l) \div \sqrt{2\alpha(l_s+l)}]$$

$$= t_s + \frac{\sqrt{2(2l_s+l)} - \sqrt{2(l_s+l)}}{\sqrt{\alpha}}$$

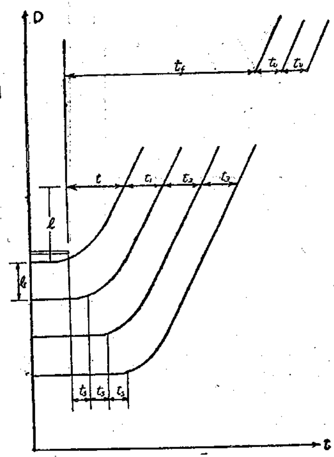
同様に

$$t_3 = t_s + \frac{\sqrt{2(3l_s+l)} - \sqrt{2(2l_s+l)}}{\sqrt{\alpha}}$$

$$t_n = t_s + \frac{\sqrt{2(nl_s+l)} - \sqrt{2\{(n-1)l_s+l\}}}{\sqrt{\alpha}}$$

以上の計算により大體の時距圖表が描かれるわけである。

次に（2）の假定により時距圖表を描く必要な値を計算して見れば次の如し。（第7圖參照）



第 7 圖

$$t_1 = t_p - \frac{\sqrt{2(l_s+l)} - \sqrt{2l}}{\sqrt{\alpha}}$$

$$t_2 = t_p - \frac{\sqrt{2(2l_s+l)} - \sqrt{2(l_s+l)}}{\sqrt{\alpha}}$$

$$t_n = t_p - \frac{\sqrt{2(nl_s+l)} - \sqrt{2\{(n-1)l_s+l\}}}{\sqrt{\alpha}}$$

$$t' = t_1 + \frac{l_s}{v}$$

$$t'' = t_2 + \frac{l_s}{v}$$

………………

$$t^{(n)} = t_n + \frac{l_s}{v}$$

(1) と (2) との假定を比較するため

$l = 10^m$ $\alpha = \frac{5}{9}$m/sec/sec 最高速度 $v = 40$ km/h $= \frac{100}{9}$m/sec

$l_s = 5^m$ $t_s = 1.5$ sec $t_p = 2.5$ sec

なる數値を入れて計算して見ると．

交叉點通過時間 $t = \sqrt{\frac{20}{\frac{5}{9}}} = 6$ sec

最初の車が全速度に達するまでの時間　$t_f = \dfrac{100}{9} \Big/ \dfrac{5}{9} = 20\,\mathrm{sec}$

此の二つは（1）（2）共同じである。

次に（1）において

$$t_v = 1.5 + 5 \Big/ \frac{100}{9} = 1.95\,\mathrm{sec}$$

$$t_1 = 1.5 + \frac{\sqrt{2(5+10)} - \sqrt{20}}{\sqrt{\frac{5}{9}}} \fallingdotseq 2.8$$

$$t_2 = 1.5 + \frac{\sqrt{2(10+10)} - \sqrt{30}}{\sqrt{\frac{5}{9}}} \fallingdotseq 2.6$$

同様に　$t_3 \fallingdotseq 2.4$　$t_4 \fallingdotseq 2.4$　$t_5 \fallingdotseq 2.3$

（2）の假定では

$$t_1 = 2.5 - \frac{\sqrt{2(5+10)} - \sqrt{20}}{\sqrt{\frac{5}{9}}} \fallingdotseq 1.2$$

$$t_2 = 2.5 - \frac{\sqrt{2(10+10)} - \sqrt{20}}{\sqrt{\frac{5}{9}}} \fallingdotseq 1.4$$

同様に　$t_3 = 1.6$　$t_4 = 1.6$　$t_5 = 1.7$

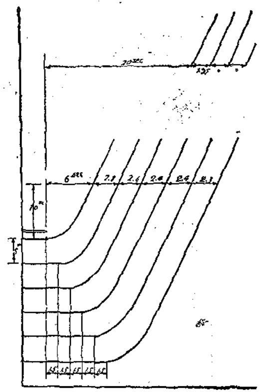
$$t' = 1.2 + \frac{5}{\frac{100}{9}} = 1.65$$

$$t'' = 1.4 + \frac{5}{\frac{100}{9}} = 1.85$$

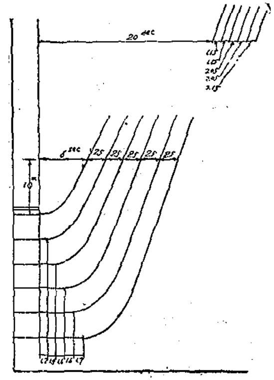
$$t''' = 2.05 \quad t'''' = 2.05 \quad t''''' = 2.15$$

以上の計算の結果を圖示すれば第8圖及び第9圖の如し。

(1) の假定は實際に近いものであるが車輛群の時間々隔が交叉點通過後一々異つて出て來るので交叉點の週期の問題を取扱ふ上に時間の計算が厄介になる。交叉兩街路の交通流が平衡にある時でさへその週期は



第 8 圖



第 9 圖

$$T = 2\,[t + t_1 + t_2 + \cdots\cdots t_n] = 2\left[\sqrt{\frac{2l}{\alpha}} + nt_s + \frac{\sqrt{2(nl_s + l)} - \sqrt{2l}}{\sqrt{\alpha}}\right]$$

と云ふやうな複雜な形になる。

しかし、遲滯圖型を描くときは、(2) の假定は不正確であるので (1) の假定を用ふべきである。(1) の假定によれば週期は

$$T = 2\,[t + (n-1)t_p]$$

と表され、きはめて簡單で前の例により、(1) (2) から週期を出して、比較して見ると

(1) によれば　$T_1 = 2\,[6+2.8+2.6+2.4+2.4+2.3] = 37\,\mathrm{sec}$

(2) によれば　$T_2 = 2\,[6+(6-1)2.5] = 39\,\mathrm{sec}$

として全然同樣に出て居る。もし異る場合でもその差は週期の許容範圍から見れば僅かなものである。

第三節　單獨整理法による斷續式交叉點の解析

(a)　信號週期

前節 (2) の假定に從ふと

$$T = 2\{t+(n-1)t_p\}$$

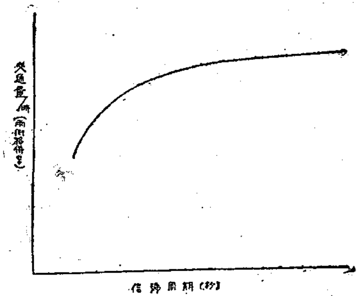
一時間の一方向に交叉點を通過する車輛數を N とすると

$$N = n\frac{3600}{T}$$

$$n = \frac{1}{t_p}\left(\frac{T}{2}-t+t_p\right)$$

$$\therefore \quad N = \frac{3600}{T.\,t_p}\left(\frac{T}{2}-t+t_p\right)$$

時距圖表を描いて t_p を假定すれば一週期に N 臺を通すべき適當な週期がわかる。今例により、N と T との關係を圖示して見ると第10圖の如くなる。これから見れば信號週期は長い程多數の交通量を通し得るが、又ある一定の減度をこえると交通量



第 10 圖

增加の割合が減少して來る。これを別の方から見ると、短い週期で間に合ふやうな交叉點では多少の交通量の增加があつても、その週期に影響する所は小さいが、すでに相當に長い週期を必要とする如き、交叉點では少しの交通量の增加に對しても週期を非常に增加しなければその要求を滿し得ないと云ふことが判る。又、バス、電車等が入つて來る、混合交通の時は、その最悪の場合を時距圖表に描き、これから trial metbod によつて、適當な信號週期を決定する事が出來る。

(b) 平均遲滯

交叉點において信號週期と相俟つて重要な要素となるものに平均遲滯がある。交叉點としては、此の平均遲滯が少ければ少い程有利である。第11圖は時距圖表に關聯して圖式解法により、信號週期と平均遲滯を求めたものである。此所には次の假定を設ける。

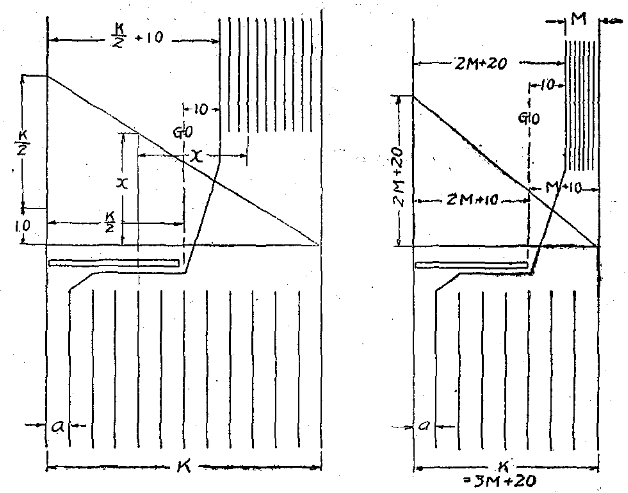
(a) 信號週期は理論的最小週期とする。

(b) 交通車輛は一樣に到着する。

(c) 各路の交通量の割合は 1:1 (A) 及び 1:2 (B) とする。

(A) の場合は

最大遲滯：$\frac{K}{2}+10-a$



第 11 圖

$$平均遲滯 = \frac{1}{2}(最大遲滯) = \frac{K}{4}+5-\frac{9}{2}$$

(B) に於ては

$$最大遲滯：2M+20-\alpha$$

$$平均遲滯：M+10-\frac{9}{2}=\frac{K}{3}+10-\frac{20}{3}-\frac{\alpha}{2}$$

$$交叉する方向の平均遲滯：\frac{K}{6}+10-\frac{20}{6}-\frac{9}{2}$$

K が理論最小週期であるから平均遲滯と信號週期との比は $\frac{1}{3}\sim\frac{1}{6}$ となる。

此の結果によれば理論的最小週期が小さい程平均遲滯が少くなる。又、平均遲滯の信號週期に對する比は實際の信號週期が理論的最小信號週期を超過する事が大なれば大なる程低下する。一つの街路に於ける通過車輛の割合が大きければ大きい程その街路の一車輛毎の平均遲滯が少くなる。ある限界內に於て其の週期內に車輛列がおそく到着すればする程平均の遲滯は減少する。その週期內に於て早く通過しおはる車が多ければ多い程その週期に對する平均遲滯は減少する。

以上は極めて特別な場合について、單獨交叉點につき解析を行つたのであるが、更に右折、左折車の影響、緩速車の影響交叉二街路の交通量の比の影響等についても時距圖表により解析し得られる。又進行式、その他の系統整理法にある一群の交叉點の解析、設計には時距圖表はこゝはめて鮮かな解答をあたへて吳れるのであるがこれらの問題については、次の機會に詳論したいと思ふ。